中華農業研究（Jour. Agric. Res. China）47(3)：220～241（1998）

水芋在不同栽培季節之生長分析

陳烈夫　　呂椿棠　　呂秀英

摘要：本研究在台灣省農業試驗所進行水田檳榔心芋之週年栽培試驗，自 1995 年 1 月至 1996 年 11 月每隔二個月種植一次，共兩年十二個種植期，調查不同栽培季節下水芋在各生育期間的葉數、葉面積及植株各部位乾物質重，並估算各種生長介量，藉以解析不同栽培季節水芋全生育期間的生長差異，同時檢視氣象因素對水芋生長分析之季節變異性的影響。結果得知，氣溫及日射量是影響水芋生長的重要氣象因素。而不同栽培季節間的同化物質之累積及球莖產量之不同，受葉片生長差異影響甚於淨同化速率。水芋葉片的生長主要決定於葉面積的擴展速率及持續期，至於葉片數目及葉片密度的影響則不大。本省中部地區以 1～3 月種植期為水芋最適栽培季節，其地上部生長旺盛期高溫及高日射量，葉片生長速率較快且持續時間較長，可使 LAI 曲線達到較大的高峰值，故供源強度充足，可加速球莖膨大充實。反之，7～9 月種植期較不利於栽種水芋，其地上部生長旺盛期低溫及低日射量，芋葉生長不良且持續時間較短，LAI 曲線沒有明顯的高峰值，使早期供源不足及分配過程受到限制，故不利於球莖膨大。5 月及 11 月種植期的葉片發育表現則介於 1～3 月及 7～9 月種植期之間，但因為地上部生長旺盛期容易受到颱風之異常氣候影響，生長表現較不穩定，故生產風險相對較大。

關鍵詞：芋、週年栽培試驗、生長介量、球莖產量、氣象因素、季節性變異。

前　言

芋屬天南星科（Araceae）多年生宿根性球莖植物，學名 *Colocasia esculenta*（L.）Schott，自古為熱帶地區居民之主要糧食，並為本省古老民食及傳統健康食品，其重要性僅次於甘藷、馬鈴薯及樹薯。水芋栽培是臺灣目前種植面積最多的一種栽培方式，且長久以來一般農民幾乎均採用檳榔心芋品種為主（約佔 93%），以採收母芋球莖為主要目的[6]。有關芋品種改良與栽培的研究在過去並不受重視，目前各改良場所已開始積極進行。欲有效選育優良品種並進行栽培技術之改良，必須對作物之生理基礎先有充份的認知，以瞭解作物之產量形成機制。作物的生長發育是一種連續不斷的動態過程，由於作物本身內在遺傳背景與外在環境因子相互影響，決定其最終產量[9]。故利用數理公式來探討作物的生長變異，是建立作物生理基礎研究最有效的方法之一。這種應用於植物生長數量方面之分析，稱為生長分析（growth analysis）[5,12,18]。生長分析乃利用植物在某一段生長期間所測得之總植株平均乾重、葉面積平均及植株各部位之平均乾重（如根、莖、葉及子實等）等之資料來計算相對生長速率（relative growth rate, RGR）、葉面積比例（leaf area ratio, LAR）、葉面積指數（leaf area index, LAI）、淨同化速率（net assimilation rate, NAR）、作物生長速率（crop growth rate, CGR）等各種生長介

1. 臺灣省農業試驗所　研究報告第 1949 號。
2. 本所農場管理室助理。臺灣省　臺中縣　霧峰鄉。
3. 本所農藝系助理與副研究員。臺灣省　臺中縣　霧峰鄉。

量(2,5,10,12,15,18)。藉由生長分析，可以瞭解作物於何種生育階段生長較快，葉面積的分布是否爲最有效地利用自然光能以利製造更多之碳水化合物，所累積之光合產物是否能由光合器官之供源（source）迅速地轉運到經濟生產部位之積儲（sink）累積貯存，以及營養生長與生殖生長之間競爭的強弱如何，這些生理現象可作爲從事育種及栽培改進之參考。而植物分配乾物質的方式與效率，是影響作物產量的重要原因(13)。陳等(3)指出提高LAI的增加速度及最大值，爲生理上影響本省水田栽培檳榔心芋乾物質生產增加之重要原因，此結果與Satou *et al.*(16,17)所發現者相符，即維持最適的LAI爲提高芋生產力的有效途徑之一。呂等(1)並以 Richards 函數進行單一種植期秋作水芋的生長曲線分析，顯示出同一期作不同年度之水芋的葉面積生長曲線受氣候影響甚大，此將影響球莖產量之生產。芋之栽植地區大都分佈於熱帶及亞熱帶地區，影響其生長與發育的氣象因素中以氣溫、日射量及降雨量三者較爲重要(14,19)。本省氣候環境於任何時期種植芋作物，只要氣溫、日光及水源充足，均有相當的收量，可行週年栽培，但因爲配合本省稻作耕作制度，農民多在秋作或春作種植。由於本省水芋可全年種植，不同栽培季節下水芋的生長變化如何，仍然有待瞭解，不同季節生育期間氣象因素對水芋生長之影響，本省相關研究至今仍然闕如，故有必要作深入之研究與探明，此將有利於本省芋作物之生長發育與產量關係之研究，對水芋經濟產量的提高及農業投資的效益，均很有幫助。

因此本研究進行水田檳榔心芋之週年栽培試驗，調查不同栽培季節下水芋在各生育期間的葉面積及各部位乾物重，並估算各種生長介量，藉以解析不同栽培季節水芋全生育期間的生長差異，同時檢視氣象因素對水芋生長分析之季節變異性的影響。

材料及方法

一、試驗材料之培育

本研究以臺灣地區栽培最廣的地方品種檳榔心芋爲試驗材料；田間栽培試驗在臺灣省農業試驗所之田區進行，分別自 1995 年 1 月 12 日及 1996 年 1 月 12 日起每隔二個月種植一次，爲期兩年，共計十二個種植期。每一種植期重複四次，行株距 70×30 公分，每行 25 株，每重複種植 8 行共 200 株。本試驗以水田栽培方式種植，整地方法與種植水稻時相同。自種芋田選取子芋，秤重後取 35±10 公克之芋苗，爲防治軟腐病，先以 50 %免賴得可濕性粉劑 1000 倍液浸漬 60 分鐘並陰乾後再逢機種植於試驗田區。種植後田間保持淺水 3—5 公分，生育期間前七個月田間經常保持淹水狀態，以後則僅維持土壤濕潤狀態。

肥料爲硫酸錏、過磷酸鈣及氯化鉀，氮、磷、鉀三要素每公頃施用量各爲 700、200 及 600 公斤(7)。平均分爲七等分於移植時及移植後每隔一個月施用一次。生育期間之雜草控制，在種植後 1 至 3 天每公頃施用 5%丁基拉草粒劑 30 公斤，並保持 3 至 5 公分淺水 3 天，種植後一個月再以同量施用一次，爾後則視田間雜草及子芋產生數量適時拔除，以免影響水芋正常生長。病蟲害防治則依實際情況適時防治（參閱農林廳編-植物保護手冊），其他管理方法則依一般慣行法行之。

二、性狀調查

移植後每一個月自各重複中逢機選取 3 株生育正常的植株，四個重複共計 12 株，調查其葉片數目，並以葉面積測定儀（Model LI-3000,LI-Cor co., U.S.A.）測量實際各株之葉片面積，然後將葉片、葉柄及球莖分別置於送風乾燥箱中以 80°C 烘乾 72～96 小時，最後秤量各部位之乾物重，每一種植期每月取樣一次，共調查 10 次。

三、生長介量之估算

將所調查得到的各取樣時期之單株葉面積（A）、葉乾物重（W_L）、葉柄乾物重（W_P）、球莖乾物重（W_C）、地上部乾物重（$W_U = W_L + W_P$）及全株總乾物重（$W_T = W_U + W_C$），和單位土地面積（$a = 2,100 cm^2$），進行以下各種生長介量之估算(2,5,10,12,15,18)：

1. 葉面積指數（LAI, leaf area index）：每單位土地面積之葉面積，$LAI=\frac{A}{a}$。
2. 葉面積比例（LAR, leaf area ratio, $cm^2 mg^{-1}$）：葉面積對全株乾物重之比例，即每單位植物之同化物質比例，可作爲植物的多葉性指標（index of leafiness），$LAR=\frac{A}{W_T}$。
3. 比葉面積（SLA, specific leaf area, $cm^2 mg^{-1}$）：每單位葉重之平均葉面積，在觀念上可視爲葉片密度或相對厚度的測度，$SLA=\frac{A}{W_L}$。
4. 葉片平均相對生長速率（$\overline{RLGR}$, mean relative leaf growth ratio, $cm^2 day^{-1}$）：每單位時間內葉面積的擴展速率，$\overline{RLGR}=\frac{lnA_2-lnA_1}{t_2-t_1}$，此處 A_1 及 A_2 分別是 t_1 及 t_2 取樣時之葉面積。
5. 平均作物生長速率（$\overline{CGR}$，mean crop growth rate，$mg\ cm^{-2} day^{-1}$）：每單位時間內每單位土地面積上所累積之植物體乾物重，$\overline{CGR}=\frac{W_2-W_1}{t_2-t_1}\times\frac{1}{a}$，此處 W_1 及 W_2 分別是 t_1 及 t_2 取樣時之乾重。此乾重可將植株根、莖、葉、子實等部位分別計算，或分開地上部與地下部計算，或將植株地上部與地下部之總重量合併計算，由植株各部位之$\overline{CGR}$，可知哪部位於何生育期之生產値最高[5]。由於水芋地上部之葉片及葉柄均能行光合作用，故本研究乃分開地上部與地下部計算，即式中的 W 爲 W_U 或 W_C。
6. 平均淨同化速率（$\overline{NAR}$, mean net assimilation rate, $mg\ cm^{-2} day^{-1}$）：每單位時間內每單位同化物質（葉面積）所增加的植物體乾物重，$\overline{NAR}=\frac{W_2-W_1}{A_2-A_1}\times\frac{lnA_2-lnA_1}{t_2-t_1}$，式中的 W 爲 W_U 或 W_C。
7. 球莖對地上部乾物重之比例（CUR, corm ／ upper plant dry weight,%）：$CUR=\frac{W_C}{W_U}$
8. 葉片乾物重比例（LDWR, leaf dry weight ratio, %）：$LDWR=\frac{W_L}{W_T}$
9. 葉柄乾物重比例（PDWR, petiole dry weight ratio, %）：$PDWR=\frac{W_P}{W_T}$
10. 球莖乾物重比例（CDWR, corm dry weight ratio, %）：$CDWR=\frac{W_C}{W_T}$

結　果

一、試驗期間氣象之變化

圖 1 爲水芋兩年共十二個種植期之週年栽培試驗期間（1995 年 1 月至 1997 年 9 月）在台灣省農業試驗所各月份的平均氣溫（℃）、每月累積日射量（MJ）及每月累積雨量（mm）之變化。試驗期間不同種植期之氣象環境迥然不同。平均氣溫方面（圖 1—A），顯示 1、3 月種植期生長初期氣溫由低而高，至生長中期達到最高溫後即因進入秋季而氣溫逐漸變低；5、7、9 月種植期生長初期氣溫由高而低，至生長中期達到最低溫後，到翌年春季之生長後期氣溫又開始回升；11 月種植期生長初期正逢冬季低溫，以後隨著生育日數增加而氣溫逐漸升高，其生長後期均處於高溫狀態。每月累積日射量方面（圖 1—B），1、3 月種植期生長初期日射量由低而高，至生長後期則日射量又降低；5、7、9 月種植期生長初期日射量由高而低，至生長後期則日射量又升高；11 月種植期生長初期因處於秋冬季故日射量較低，但隨後日射量即逐漸升高，至生長後期之夏季日射量最大，於最後收穫時則因又入秋而日射量降低。至於每月累積雨量（圖 1—C），其高低變化大致與每月累積日射量相似，惟在 4～8 月份時，由於容易受到梅雨及颱風之影響，年度之間累積雨量的變異較大。

二、芋葉生長介量之變異

兩年各六個種植期下的葉面積指數（LAI）隨生育時間的變化，示如圖 2。兩年的 LAI 變化趨勢

相當一致：11月、1月、3月及5月四個種植期水芋自移植後第1個月起LAI即呈急速的直線增加，然後在達到某個高峰值後便開始降低；7、9月種植期則沒有明顯的LAI高峰值，一直以固定的緩和速率遞增，至收穫爲止，其LAI值最多也不過在1.4—2.1。水芋是否能保持LAI最大值，與不同種植期栽培期間的氣溫及日射量變化趨勢有絕對關係；由於試驗是採水田栽培方式種植，水源相當充足，故降雨量之影響便顯得沒有那麼重要，不過在某些月份倘累積雨量過多，相對地日射量亦降低。水芋倘於11～5月間種植，其生長初期及中期氣溫及日射量均高，有利於葉片生長及使LAI達到高峰；反之，於7～9月間種植水芋，移植後氣溫及日射量即逐漸下降，故葉片生長不良，LAI較低且不易有高峰值出現。水芋的LAI高峰值以第一週年（1995）1月種植期的值最大（3.2），第一週年3月種植期則次之（3.1）。第二週年（1996）栽培期間中部地區由於5月下旬中度颱風凱姆（CAM）及7月下旬強烈颱風賀伯（HERB）來襲造成嚴重災害，此恰逢1、3、5月種植期之葉片生長旺盛期，故第二週年此三個種植期的LAI高峰值均較第一週年所得者爲低，同時也使第一週年11月種植期於移植後第6個月（1996年5月）及第二週年3月種植期於移植後第5個月（1996年8月）的LAI產生急遽降低之不正常現象。而7、9月種植期遇上颱風的時間正是移植初期或收穫後期，故影響並不大，但因爲第二週年7、9、11月種植期之水芋生長初期及中期（1996年8月至1997年3月）的平均氣溫均較第一週年同期者爲高（圖1），故此三個種植期於第二週年的LAI值亦較第一週年所得者爲大。1月及3月種植期之LAI達到高峰值的時間在不同年度之間均表現一致，各爲移植後第5及第4個月，1月種植期的LAI加速期比3月種植期多延續了一個月；5月種植期之LAI高峰期發生在移植後第4或第5個月，年度間存在差異是因爲第二週年遇著賀伯颱風之異常氣候影響，故在移植後第5個月其LAI即下降；11月種植期則在移植後第7個月達到LAI高峰值。雖然1月種植期的LAI高峰值最高，但達高峰值後下降速率也最快，此或許是因爲1月種植期在生育後期之低溫及低日射量所致，而3月種植期因爲移植後第9個月起氣溫及日照已漸回升，故其LAI達高峰值後的下降速率稍緩於1月種植期。

除了5月種植期之外，水芋葉面積比例（LAR）在生育初期皆會升高，直到移植後第2、3個月達到最高值，以後才隨著生育日數而迅速減少，至生育後期，7～9月種植期的LAR均較其他種植期爲高（圖3）。由於LAR爲植物多葉性之指標，定義爲〝每單位植物之同化物質比例〞，因此顯示出7～9月間種植水芋，雖然生育後期的高溫及高日射量有利於葉片生長，但此時光合作用物質多累積於葉片，並未轉運到地下球莖。

水芋於所有種植月份的比葉面積（SLA）不會隨著生育日數增加而改變，且年度、期作間的表現也相當一致（圖4），表示水芋的葉片密度或相對厚度在不同年度、種植期及生育階段的變化甚小。而水芋在生育初期及後期的葉片數目最少，約2～3片，而在葉片生長旺盛期最多也不會超過6片（圖5）。由此可知，水芋葉片的生長主要決定於葉片表面積之快速擴展，至於葉片數目及密度的影響則不大。

水芋葉面積擴展的平均相對生長速率（$\overline{RLGR}$）隨著生育日數增加而遞減，其遞減速度以1月種植期最快，1月之後倘種植的時間愈晚，$\overline{RLGR}$的遞減減速度會變緩，到7、9月種植期時自移植後第4個月起及5月種植期自移植後第6個月起的$\overline{RLGR}$即不再下降而維持固定，直到11月種植期又恢復快速遞減之變化趨勢（圖6）。

三、水芋植株各部位乾物重、平均生長速率與淨同化速率之變異

水芋葉片乾重在不同年度及種植期的生長變化，與LAI一致（圖7）。每一葉片中心下端有一圓筒狀葉柄相連，長約40—180公分，葉柄呈綠色，也可行光合作用，葉柄乾重在不同年度及種植期的生長變化，與葉片乾重一致（圖8）。

不同年度及種植期的水芋地下部球莖隨生育日數的生長變化，則與其地上部的表現迥異（圖9）：1、3月種植期之球莖乾重在生長中期後急速增加且各自在移植後第8、9個月時可達一高峰值，而

其餘種植期的球莖乾重則沒有明顯高峰且一直保持平緩的速度增加。從移植後到 10 個月收穫止，球莖產量最高的種植期依次為 3、1、5、7、9、11 月。其中 3 月種植期雖可獲得最高球莖產量，發生時間卻比 1 月種植期延遲了一個月，即在移植後第 8 個月進行收穫時，1 月種植期即可達最高產量，此時 3 月種植期的球莖產量也十分相近；倘再延後一個月收穫，1 月種植期產量稍降，而 3 月種植期產量仍然增加；若延至移植後第 10 個月才收穫，則 1、3 月種植期的球莖產量均會降低。此由球莖乾重對地上部乾物重之比例（CUR）得知（圖 10），1、3 月種植期在移植後第 9 個月 CUR 急速上升，表示水芋植株地上部已老化萎縮，葉片再也沒有太多的供源可以轉運至球莖，尤其以 1 月種植期最為明顯，為維持葉片機能，此時甚至於必須消耗球莖以使同化物質能運轉至地上部，故 1、3 月種植期各自在移植後第 9、10 個月的球莖產量反而降低。

1、3、5、11 月種植期水芋植株地上部的平均作物生長速率（$\overline{CGR}$）隨著生育日數增加而增加，在 LAI 接近於高峰時顯著下降；7、9 月種植期水芋地上部的$\overline{CGR}$在全生育期則大致保持一定。所有種植期水芋的球莖$\overline{CGR}$隨著生育日數增加而增加，而以 1、3 月種植期的球莖乾物重增加速率最快但在生長後期球莖增加速率又下降（圖 11）。

水芋地上部及球莖的平均淨同化速率（$\overline{NAR}$）隨生長之變化趨勢，如圖 12 所示。所有種植期水芋的地上部$\overline{NAR}$皆隨著生育日數增加而遞減，遞減速度以 1 月種植期最快，種植時間愈晚，則遞減速度變緩，到 11 月種植期下降速率又開始變快；其中由於 3、5 月種植期生長後期氣溫及日射量回升，葉片老化衰退稍緩，故其生長後期地上部$\overline{NAR}$有提高之現象。所有種植期水芋的球莖$\overline{NAR}$皆隨著生育日數增加而緩慢增加， 1、3、5、11 月種植期於生長後期的球莖$\overline{NAR}$增加幅度變大，到接近收穫時（移植後第 9、10 個月），由於 1、3 月種植期正逢低溫及低日射量，水芋植株地上部已嚴重老化萎縮，再也沒有太多的供源物質可以轉運至球莖，故球莖$\overline{NAR}$急速下降；至於其他種植期生長後期氣溫及日射量皆已回升，葉片仍能維持功能，不易老化，故使其地上部及球莖的$\overline{NAR}$不致降低太多，但該四個種植期因為生長中期低溫及低日射量，早期的供源仍然不足。

四、水芋乾物質生產及分配之變異

水芋全生育期植株各部位乾物重佔全株乾物重之百分比變化在不同種植期之間有明顯的差異，但同一種植期下不同年度間則相當一致（圖 13）。水芋為多年生宿根性球莖作物，全生育期均處於營養生長狀態，但由植株各部位乾物質生產分配的趨勢，亦可大致將水芋整個生長期劃分成生長初期、地上部生長旺盛期、球莖快速膨大期及球莖成熟期之四個階段[4]。所有種植期之水芋植株在移植後前兩個月內均處於生長初期，以新葉片的生成為主，球莖純粹在消耗狀態，故球莖所佔比率急速下降。自移植後第 2 個月起，植株進入地上部生長旺盛期，但該生長階段在不同種植期所能持續的時間有極大差異，最長為 3 個月（1、11 月種植期），最短甚至觀察不到有明顯地上部生長旺盛現象（7、9 月種植期）；而雖然 1 月及 11 月種植期的地上部生長旺盛期均持續長達 3 個月之久，但顯然 1 月種植期的葉片生長速率甚高於 11 月種植期（圖 6）。所有種植期的球莖快速膨大期都持續 3～4 個月時間，但球莖膨大速率不一，以 1、3 月種植期最快，7、9 月種植期最慢（圖 11），按此應該是受到前一階段地上部生長旺盛期的表現差異影響。地上部生長旺盛期所能持續的時間較長且葉片生長速率較快，表示供源強度充足，故能提高球莖膨大速率。

討　論

綜合上述結果得知，水芋分配乾物質的方式與效率是影響球莖產量的重要原因，而葉片生長對水芋能量轉移與乾物質累積過程十分重要。水芋葉片的生長主要決定於葉片表面積的擴展速率及持續期，至於葉片數目及葉片密度的影響則不大。外在栽培環境的氣溫及日射量，是影響水芋葉片生長的重要氣象因素。芋性喜高溫多濕,Goenaga[14] 及 Valenzuela *et al.*[19] 進行旱芋栽培試驗，發現影響其生長

與發育的氣象因素中以氣溫、日射量及降雨量三者較為重要。本試驗為水芋栽培試驗，水源充足，故降雨量便顯得不是很重要。Satou *et al.* [16] 利用旱生芋品種，發現適宜光合作用的溫度範圍為 25～35℃，以 30℃最為適宜。而本省中部地區倘於 7～9 月種植水芋，其生長中期的平均氣溫皆低於此最適溫度範圍，故光合效率會降低。至於球莖的形成與膨大，根據中國大陸於 1964 年針對杭州白梗芋的試驗研究得知，主要是受到日照長短之影響，在自然條件下，短日照比長日照較有利於球莖的形成[6]。黃與韓[6]亦指出，晝夜溫度變化對一般根莖類作物如馬鈴薯、生薑及山藥的影響較大，但對芋球莖的形成影響較不敏感。

1～3 月間種植水芋，地上部生長旺盛期氣溫及日射量皆高，故葉片生長速率較快，且持續時間較長，導致植株 LAI 較高且有明顯的 LAI 高峰值，此有利於供源強度之發揮，可加速球莖膨大充實。其中以 1 月種植期的地上部生長旺盛期持續時間最長（近 3 個月），且 LAI 高峰值最大，雖因生育後期低溫、低日射量而使$\overline{NAR}$降低，但其供源強度仍然極高。3 月種植期地上部生長旺盛期達 2 個月，僅次於 1 月種植期，但因生長後期氣溫及日射量回升而使$\overline{NAR}$增加，可提高供源強度。因此以單株產量而言，本省中部地區以 1～3 月種植期為最適栽培季節，且以 3 月種植期所獲單株球莖產量最高。1～3 月間栽植水芋，在移植後第 8 個月即可收穫，且最多僅能延後一個月收穫，因為此時球莖會開始消耗以延續老化枯萎之地上部的機能。於 7～9 月間種植水芋，其地上部生長旺盛期氣溫及日射量均低，在此環境下葉片生長不良，且持續時間非常短暫，雖生育後期高溫、高日射量而使$\overline{NAR}$較高於其他種植期，但早期的供源不足及其分配過程受到限制，使再多的光合產物也無法轉運到球莖中，而影響球莖之膨大充實，故本省中部地區以 7～9 月種植期最不利於栽植水芋。至於 11 月及 5 月種植期的葉片發育表現則介於 1～3 月及 7～9 月種植期之間。11 月種植期生長初期連續 3、4 個月之低溫及低日射量，使水芋葉片生長不良，LAI 高峰值延後且變低，故早期供源強度不足，隨後溫度雖逐漸升高且日射量變強，但卻容易受到颱風異常氣候之影響，而導致分配過程受到阻礙，供源分配效率因此變低。5 月種植期生長初期僅維持 4 個月之高溫及高日射量，地上部之旺盛生長期無法持續太久，同時容易受到颱風之異常氣候影響，LAI 高峰值較小，雖生育後期溫度及日射量升高而使 $\overline{\mathrm{NAR}}$ 並未降低，但其供源強度仍然不足。故在本省中部地區於 11 月及 5 月種植水芋，生長表現較不穩定，生產風險相對較大。

$\overline{NAR}$與 LAI 之間通常呈負相關（直線或曲線），表示葉片愈繁茂，則因互相遮蔽及呼吸量增大，使單位葉面積之淨同化速率降低，通常若日射量強，作物受光態勢佳（光較能透入葉層內），光合作用強或呼吸率低均能使$\overline{NAR}$－ LAI 間之斜率變緩[2,5,12]。此處水芋地上部$\overline{NAR}$是總合葉片及葉柄之乾物重來計算，其實若分開葉片及葉柄而分別計算其$\overline{NAR}$，則其生長變化趨勢與合併地上部所得者一致（本文未列圖）。由本研究結果發現，水芋的地上部（或葉片、葉柄）$\overline{NAR}$與 LAI 之間沒有明顯關係存在，這是因為水芋葉片甚少且呈環狀排列生長，彼此之間植冠覆蓋程度不致於影響光合作用效率。一般而言，大部份作物以葉面積及$\overline{NAR}$對植物乾物質累積影響較大，從過去學者對小麥、甜菜及馬鈴薯等作物之試驗結果獲致品種、肥料及生長季節對其經濟產量的影響，主要與葉面積之變異有關，而與$\overline{NAR}$無關[5]。從本研究水芋試驗結果，亦顯示出相同的結論，即水芋不同栽培季節間的同化物質之累積及球莖產量之不同，乃基於葉面積變異所致，而$\overline{NAR}$的影響甚小。但種植期對甘藷的經濟產量影響，則以$\overline{NAR}$之影響較大於葉面積之增加[8]。

所有種植期之水芋$\overline{RLGR}$隨生育日數增加而遞減（圖 6）。由公式得知，LAR 及$\overline{NAR}$兩者同為$\overline{RLGR}$的主要生理組成因素。所有種植期在移植後第 2、3 個月起水芋 LAR 即迅速減少（圖 3），所有種植期在生長後期之前的地上部$\overline{NAR}$皆隨生育日數增加而遞減，但球莖$\overline{NAR}$則隨生育日數增加而緩慢增加（圖 12），且無論地上部或球莖的$\overline{NAR}$之變化皆與球莖產量之高低（圖 9）並不一致。因此，LAR 可能是影響葉片生長速率高低的主要原因。同時從公式知 LAR ＝ SLA×LDWR，因為水芋 SLA 的變化

較小（圖 4），故可推知影響水芋 LAR 者主要在 LDWR（葉片乾物重比例）。

水芋$\overline{CGR}$之增減與LAI密切相關，一般而言，生長初期LAI及$\overline{CGR}$均隨生育日數增加而增加，但至某一階段後，LAI 即開始降低，此時通常為營養生長與生殖生長之轉換期。雖然水芋為多年生宿根性球莖作物，其全生育期均處於營養生長狀態，但仍可由植株各部位乾物質生產分配之趨勢，將水芋整個生長期劃分成四個階段[4]。而水芋地上部$\overline{CGR}$在 LAI 達高峰之前伴隨 LAI 增加，當 LAI 接近於高峰時則顯著下降，但球莖$\overline{CGR}$均隨生育日數增加而增加（圖 11）。LAI開始降低時，葉片及葉柄乾物重比例開始下降而球莖乾物重比例則快速升高，此時也正好是水芋自地上部生長旺盛期轉換為球莖快速膨大期的階段。

多年生作物，均需考慮其再生能力。經由不同種植期水芋植株各部位乾物質生產分配趨勢所劃分的生長階段，得知 5、7、9 月種植期的球莖快速膨大期在移植後第 6 個月即結束而進入球莖成熟期（圖 13），換言之，理論上此時的葉片數目應該逐漸減少，新生葉之葉形愈來愈小，但其$\overline{RLGR}$卻不再下降而維持固定（圖 6），且其LAR也較其他種植期為高（尤其是 7、9 月種植期，圖 3），此顯示出 5～9 月間種植水芋，因為早期供源不足（葉片生長速率甚低且無明顯之地上部生長旺盛期）以及生育後期高溫、高日射量有利於葉片生長，倘移植後第 7 個月起不予採收而繼續留置土中，很有可能會使水芋植株繼續發新葉，開始進入再生階段，此不但不利於累積養分，反而對產量有所影響。

本研究是測量分隔時間的葉面積及植株各部位乾物重，再估計連續取樣時間的平均或代數平均以求算瞬間下各種生長介量。為有別於後來發展的曲線函數配合法，這種生長分析技術被Causton[11]稱作傳統方法。函數方法是利用一些簡單假設，在可容忍的準確度下，以發展出的生長曲線來呈現植物的生長特性，但其計算上較為繁複，且必須使用較多的資料點，如因為配合度不好，可能產生錯誤結果；反之傳統方法要求在每一調查時間所測量的資料量須多，故不適用於資料點多的場合，否則調查資源所需成本會很高[1,15]。只要沒有時間及空間限制上的問題，傳統方法及函數方法兩者之間並不完全衝突[1]，均能從植物生理上有效地探討作物不同生長階段及不同栽培環境下之生育情形。藉由本研究對水芋在不同栽培季節下之生長分析，所獲致結果，當有利於本省芋作物之生長發育與產量關係之研究，可為未來從事芋作物育種及栽培改進之參考。

誌　謝

本研究承蒙行政院國家科學委員會補助經費（NSC85-2321-B055-005, NSC86-2321-B055-002, NSC 87-2321-B055-003），特此誌謝。

引用文獻

1. 呂秀英、陳烈夫、呂椿棠、賴吉雄。1995。以 Richards 函數建立水芋之生長模式。中華農學會報 171:22-34。
2. 高景輝、湯文通。1977。植物生長與分化。國立台灣大學農學院印行。第 142-149 頁。
3. 陳烈夫、呂秀英、呂椿棠、賴吉雄。1995。水芋葉面積與乾物質生產之關係。中華農業研究 44:59-71。
4. 陳烈夫。1996。水芋收穫指數與乾物質生產分配之關係。中華農業研究 45:174-185。
5. 許福星。1977。作物生長分析及其應用。科學農業 25：334-341。
6. 黃賢喜、韓青梅。1994。雜糧作物各論。III、根及莖類。第 20 章。1667-1714 頁。台灣省雜糧發展基金會。台北。
7. 戴順發、韓青梅。1991。水芋氮鉀肥施用效應。興農 267：40-42。
8. Austin, M. E., and L. H. Aung. 1973. Patterns of dry matter distribution during development of sweet potato (*Ipomoea batatas)*. J. Hort. Sci. 48:11-17.
9. Bauer, A., A. B. Frank, and A. L. Black. 1984. Estimation of spring wheat leaf growth rates and anthesis from air temperature. Agron. J. 76:829-835.
10. Bullock, D. G., R. L. Nielsen, and W. E. Nyquist. 1988. A growth analysis comparison of corn grown in conventional and equidistant plant spacing. Crop Sci. 28:254-258.

11. Causton, D. R. 1967. Some Mathematical Properties of Growth Curves and Applications to Plant Growth Analysis. Ph.D. Thesis, University of Wales.

12. Causton, D. R., and J. C. Venus. 1981. The Biometry of Plant Growth. Edward Arnold Ltd., London, p.307.

13. Duncan, W. G., D. E. McCloud, R. L. McGraw, and K. J. Boote. 1978. Physiological aspects of peanut yield improvement. Crop Sci. 18:1015-1020.

14. Goenaga, R. 1995. Accumulation and partitioning of dry matter in taro [*Colocasia esculenta* （L.） Schott]. Ann. Bot. 76: 337-341.

15. Hunt, R. 1982. Plant Growth Curves. The functional Approach to Plant Growth Analysis. Edward Arnold Ltd., London. p.284.

16. Satou, T., M. Kawai, and T. Fukuyama. 1978. Studies on matter production of taro plant (*Colocasia esculenta* Schott). I. Changes with growth in photosynthetic rate of single leaf. Japan. J. Crop Sci. 47:425-430. （Japanese with English summary）.

17. Satou, T., E. Miyauchi, and H. Sugimoto. 1988. Studies on matter production of taro plant (*Colocasia esculenta* Schott). II. Varietal differences of dry matter production and tuber growth. Japan. J. Crop Sci. 57:305-310. （Japanese with English summary）.

18. Radford, P. J. 1967. Growth analysis formulae - their use and abuse. Crop Sci. 7:171-175.

19. Valenzuela, H. R., S. K. O'Hair, and B. Schaffer. 1991. Shading, growth and dry matter partitioning of cocoyam [*Xanthosoma sagittifolium* （L.） Schott]. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 116:1117-1121.

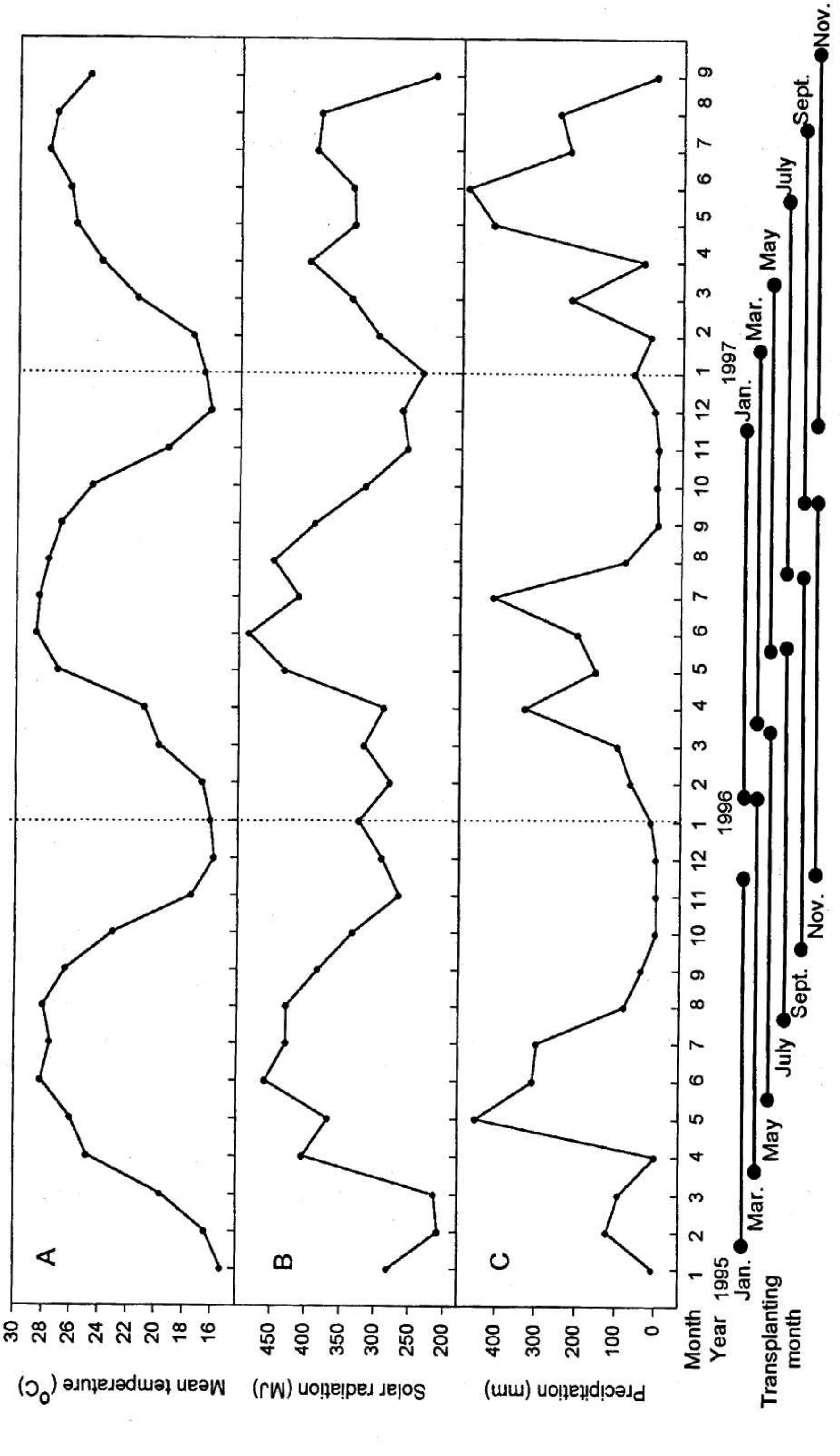

圖 1. 1995 年 1 月至 1997 年 9 月試驗期間在臺灣省農業試驗所的每月平均日溫（A）、累積日射量（B）及累積雨量（C）之變化

Fig. 1. Daily mean temperature (A), monthly solar (B) and monthly precipitation (C) at Taiwan Adricultural Research Institute, from January 1995 to September 1997

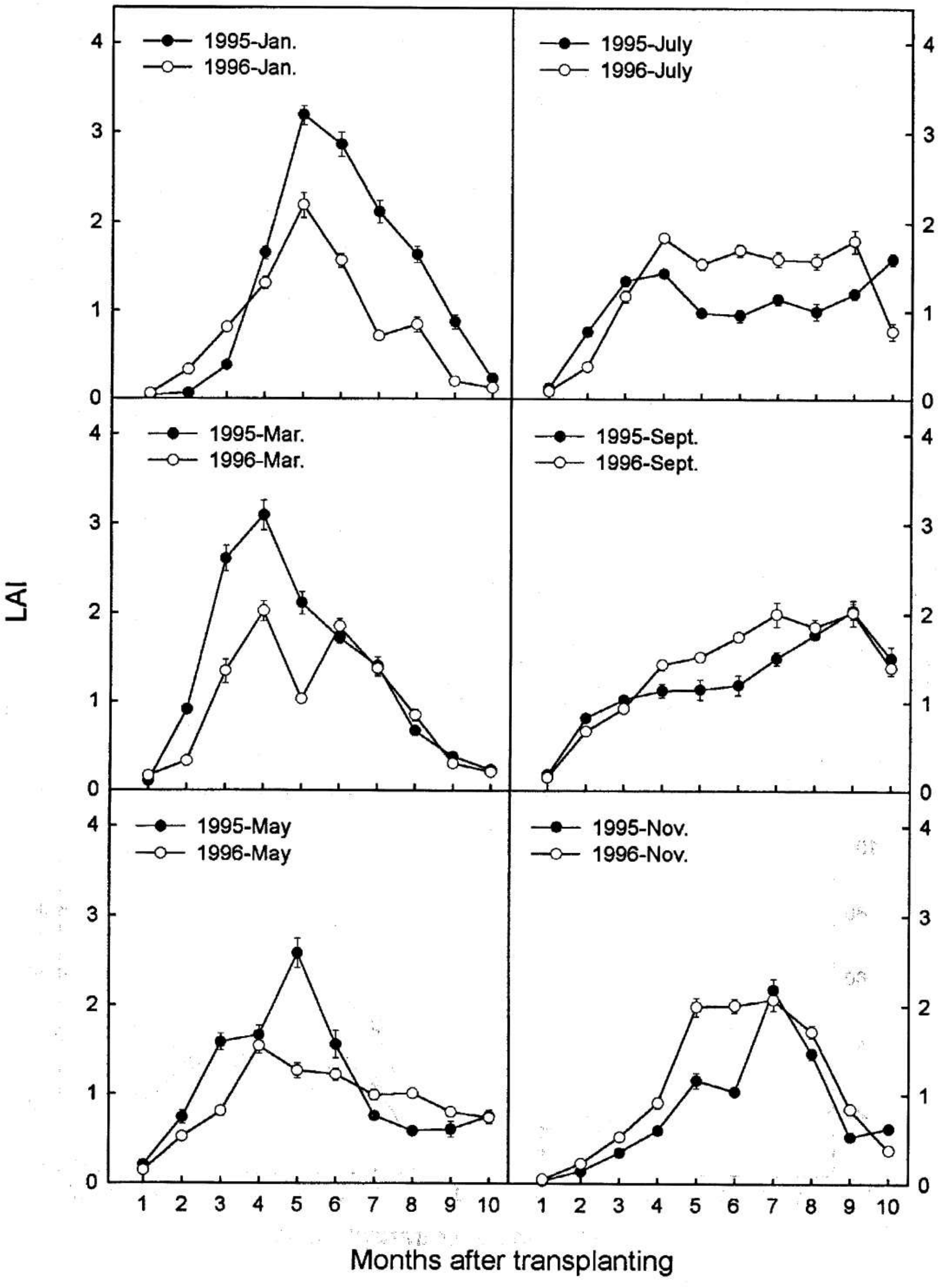

圖 2. 水芋不同種植期下葉面積指數（LAI）之生長變化

Fig. 2. Changes of leaf area index （LAI） during the growing period for wetland taro under different transplanting months.

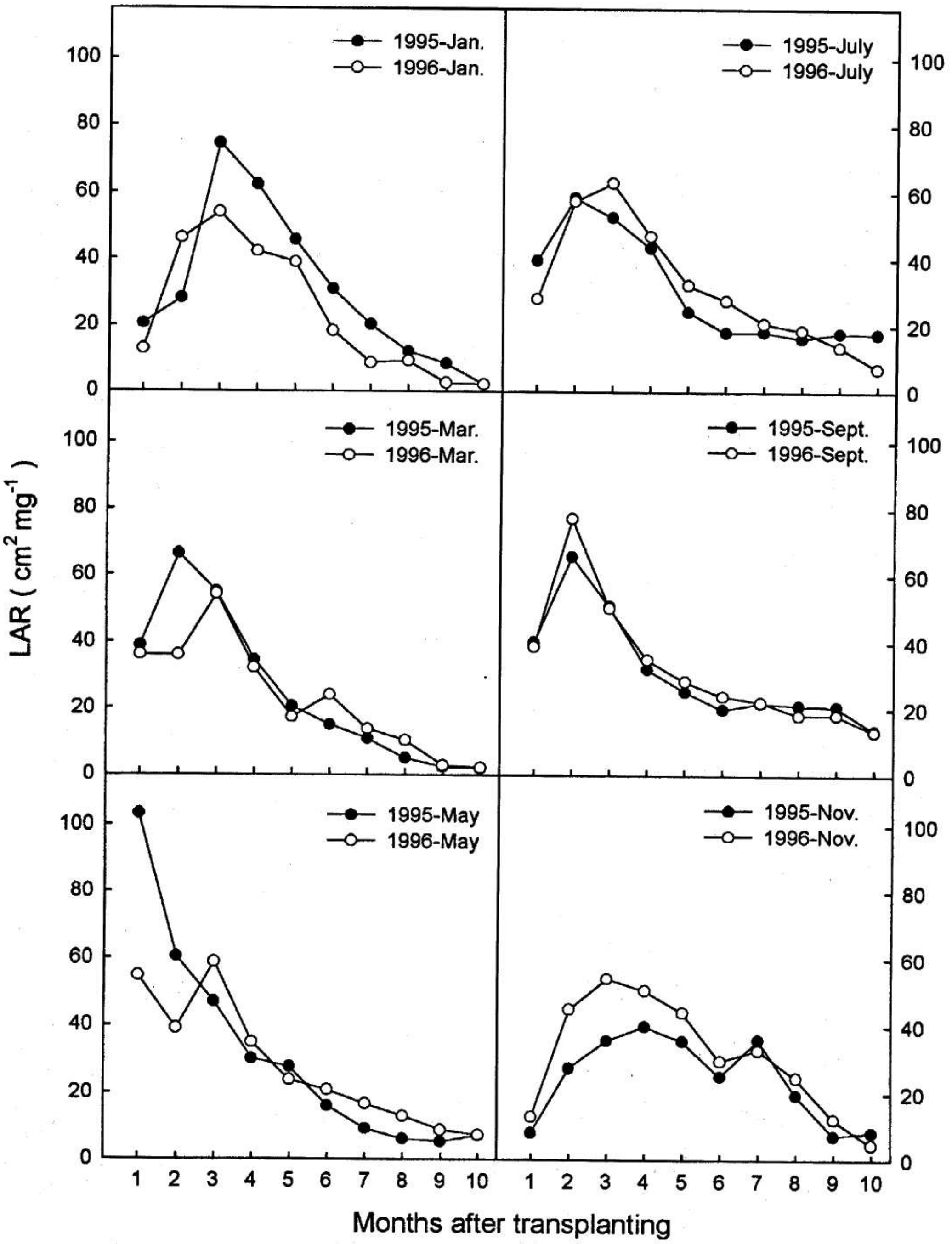

圖 3. 水芋不同種植期下葉面積比例（LAR）之生長變化

Fig. 3. Changes of leaf area ratio (LAR) during the growing period for wetland taro under different transplanting months.

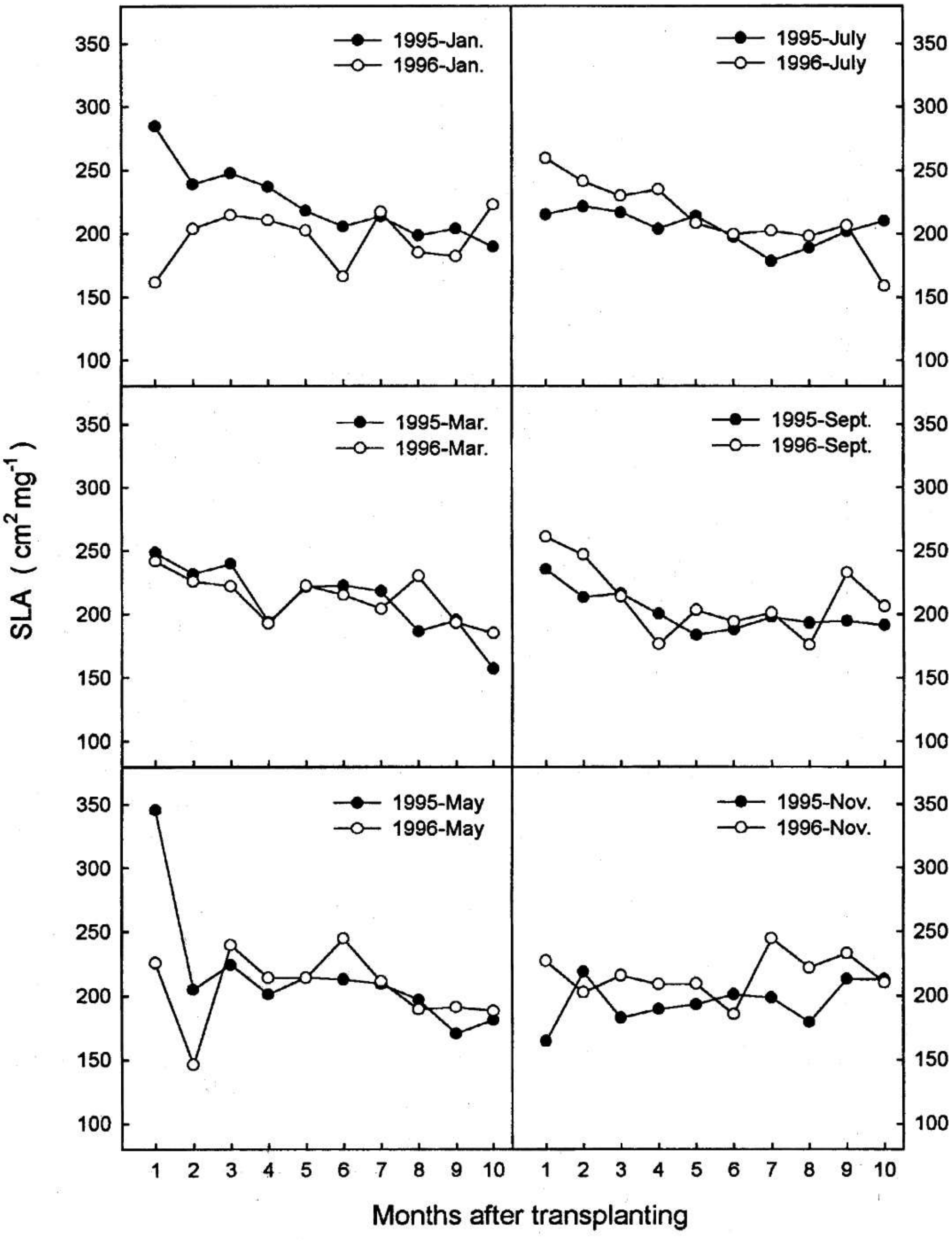

圖 4. 水芋不同種植期下比葉面積（SLA）之生長變化

Fig. 4. Changes of specific leaf area (SLA) during the growing period for wetland taro under different transplanting months.

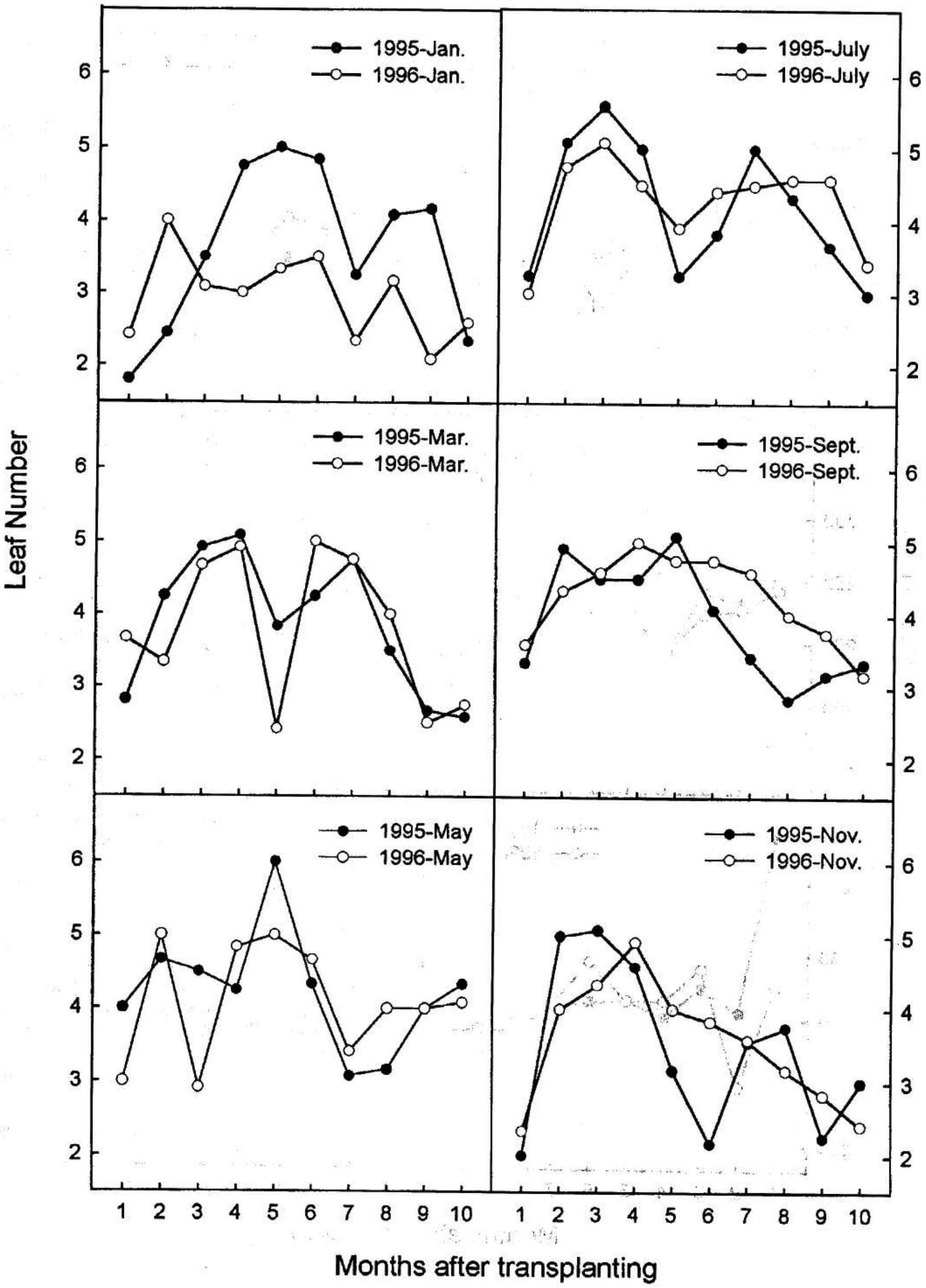

圖 5. 水芋不同種植期下葉數之生長變化

Fig. 5. Changes of leaf number during the growing period for wetland taro under different transplanting months.

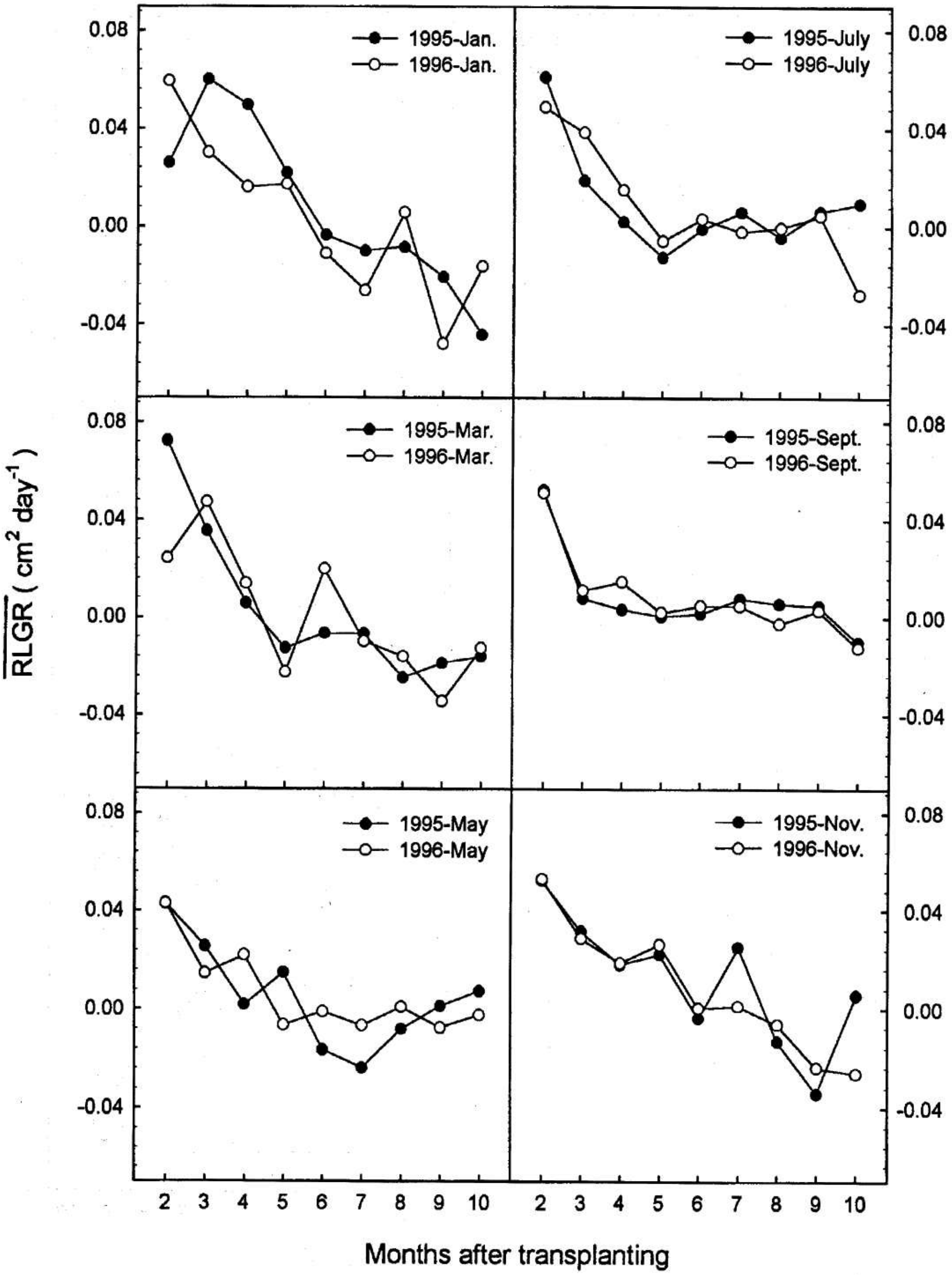

圖 6. 水芋不同種植期下葉片平均相對生長速率（$\overline{RLGR}$）之生長變化

Fig. 6. Changes of mean relative leaf growth ratio （$\overline{RLGR}$） during the growing period for wetland taro under different transplanting months.

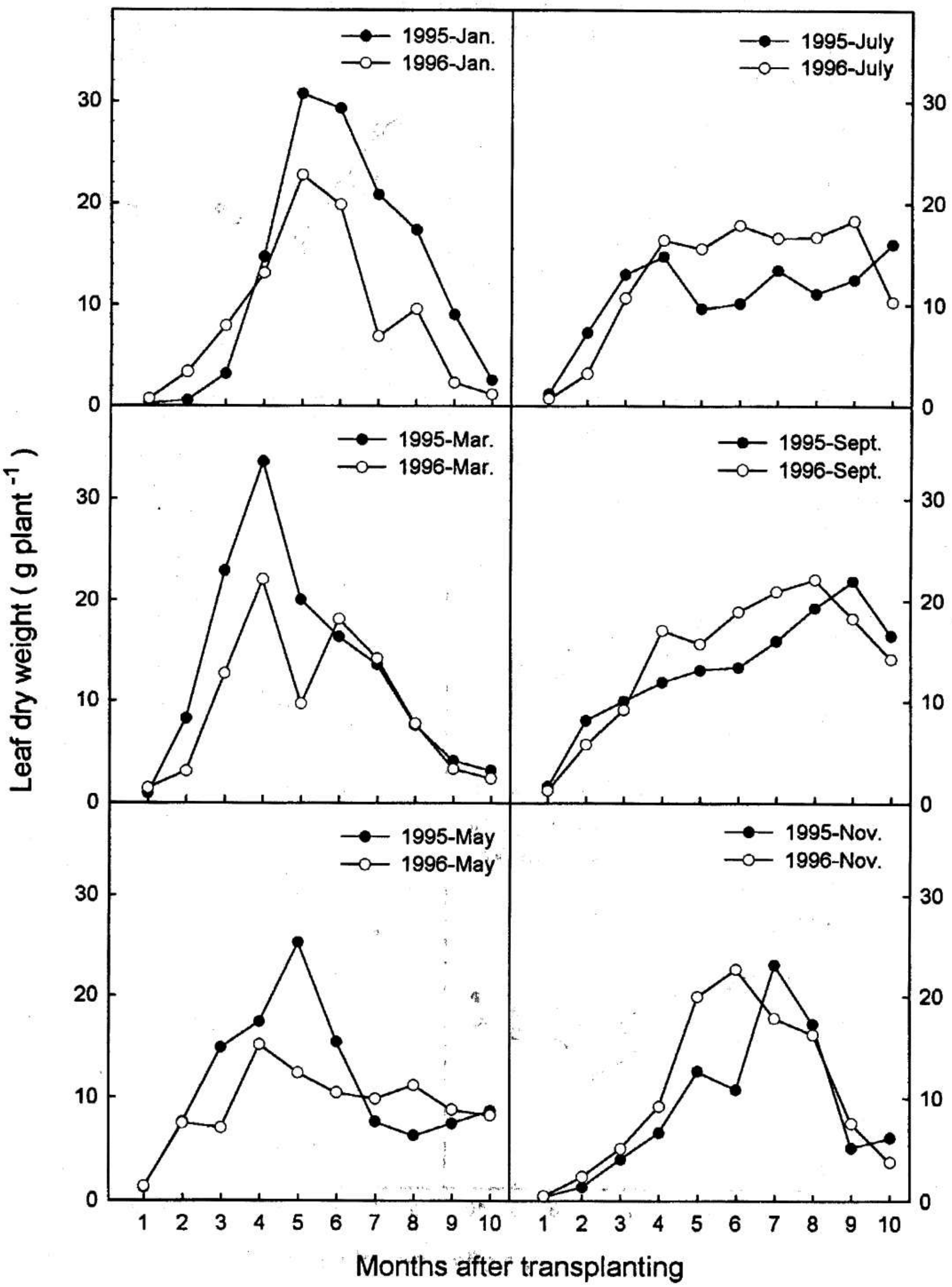

圖7. 水芋不同種植期下葉片乾物重之生長變化

Fig. 7. Changes of leaf dry weight during the growing period for wetland taro under different transplanting months.

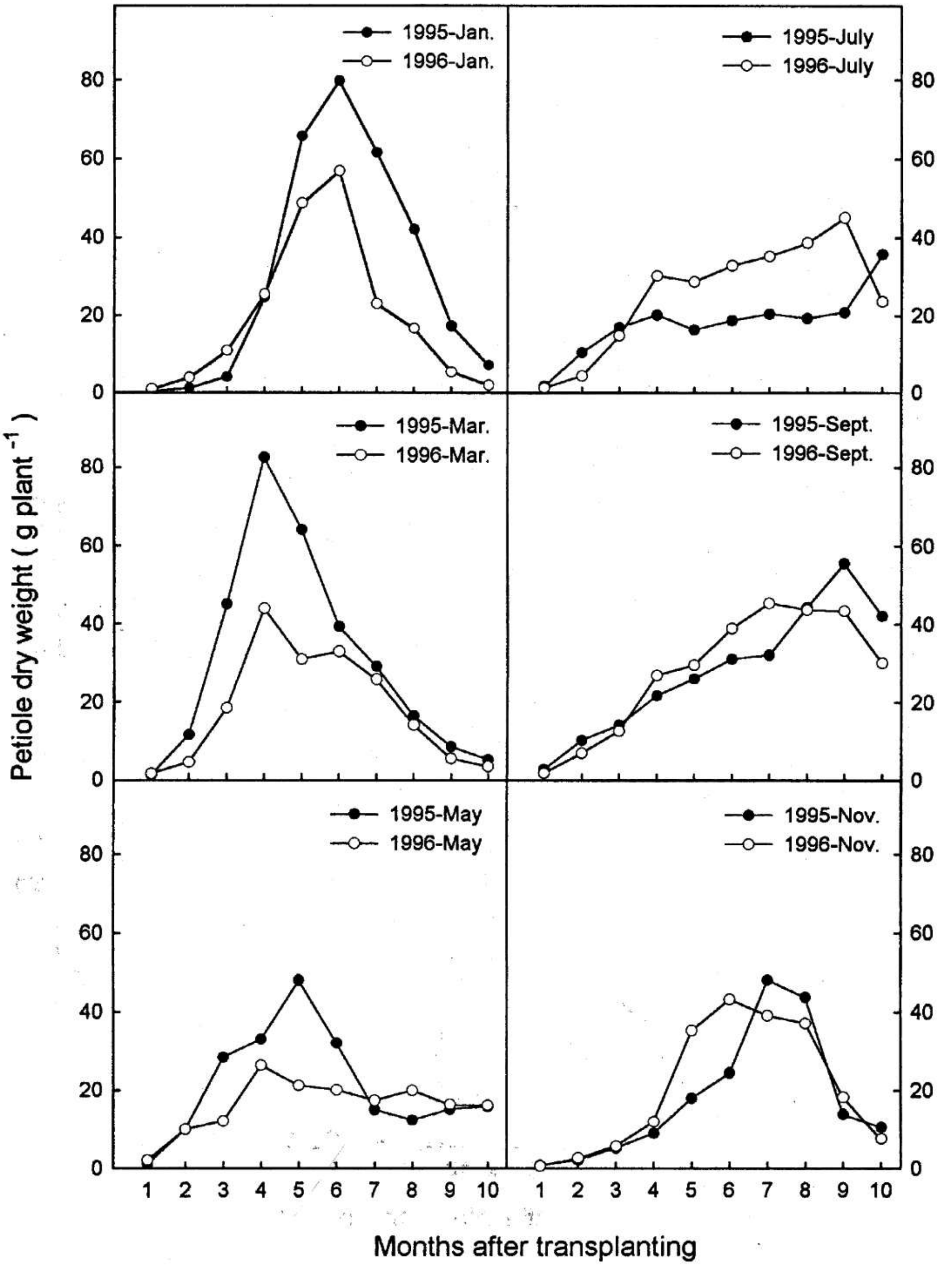

圖 8. 水芋不同種植期下葉柄乾物重之生長變化

Fig. 8. Changes of petiole dry weight during the growing period for wetland taro under different transplanting months.

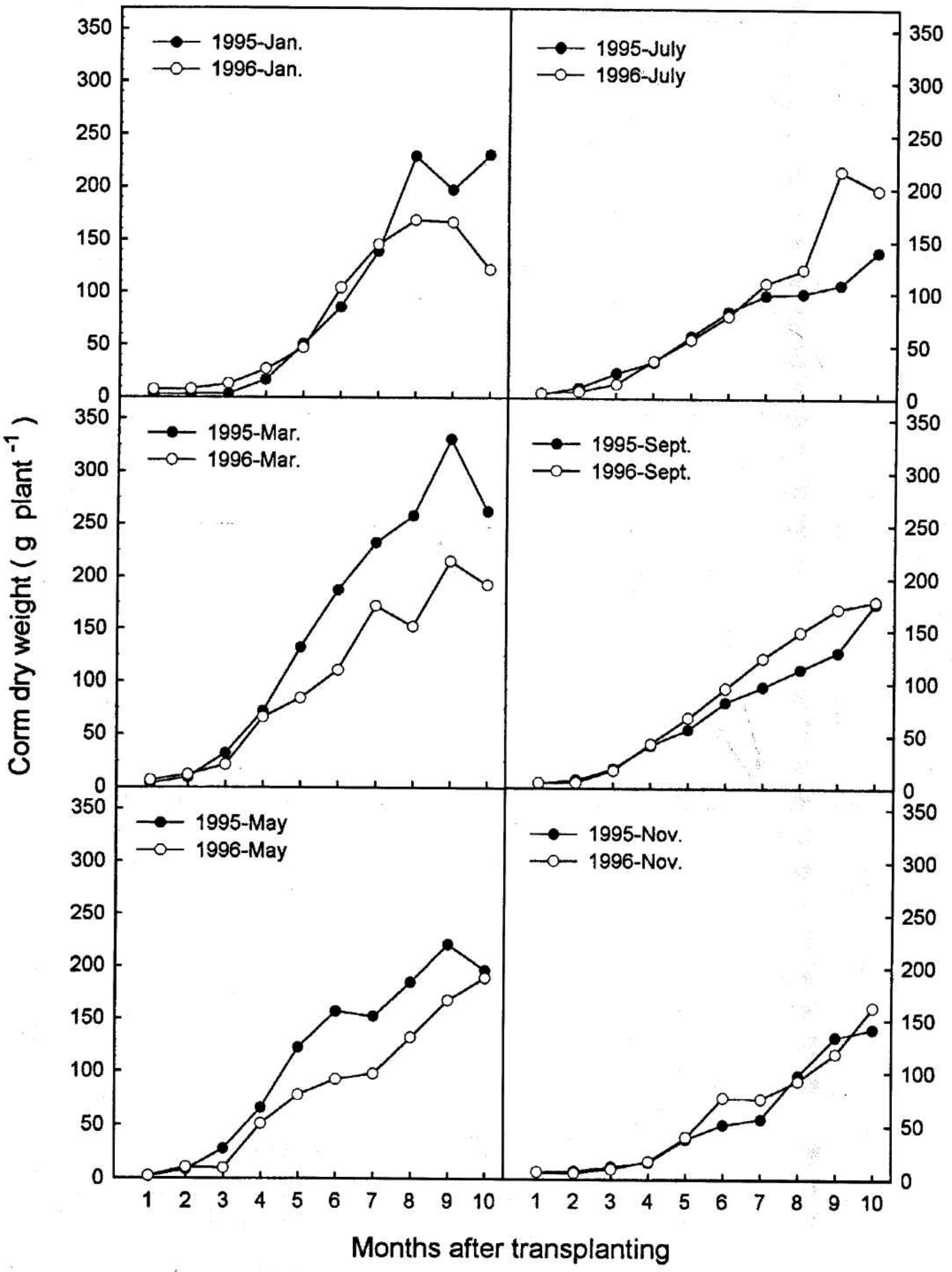

圖 9. 水芋不同種植期下球莖乾物重之生長變化

Fig. 9. Changes of corm dry weight during the growing period for wetland taro under different transplanting months.

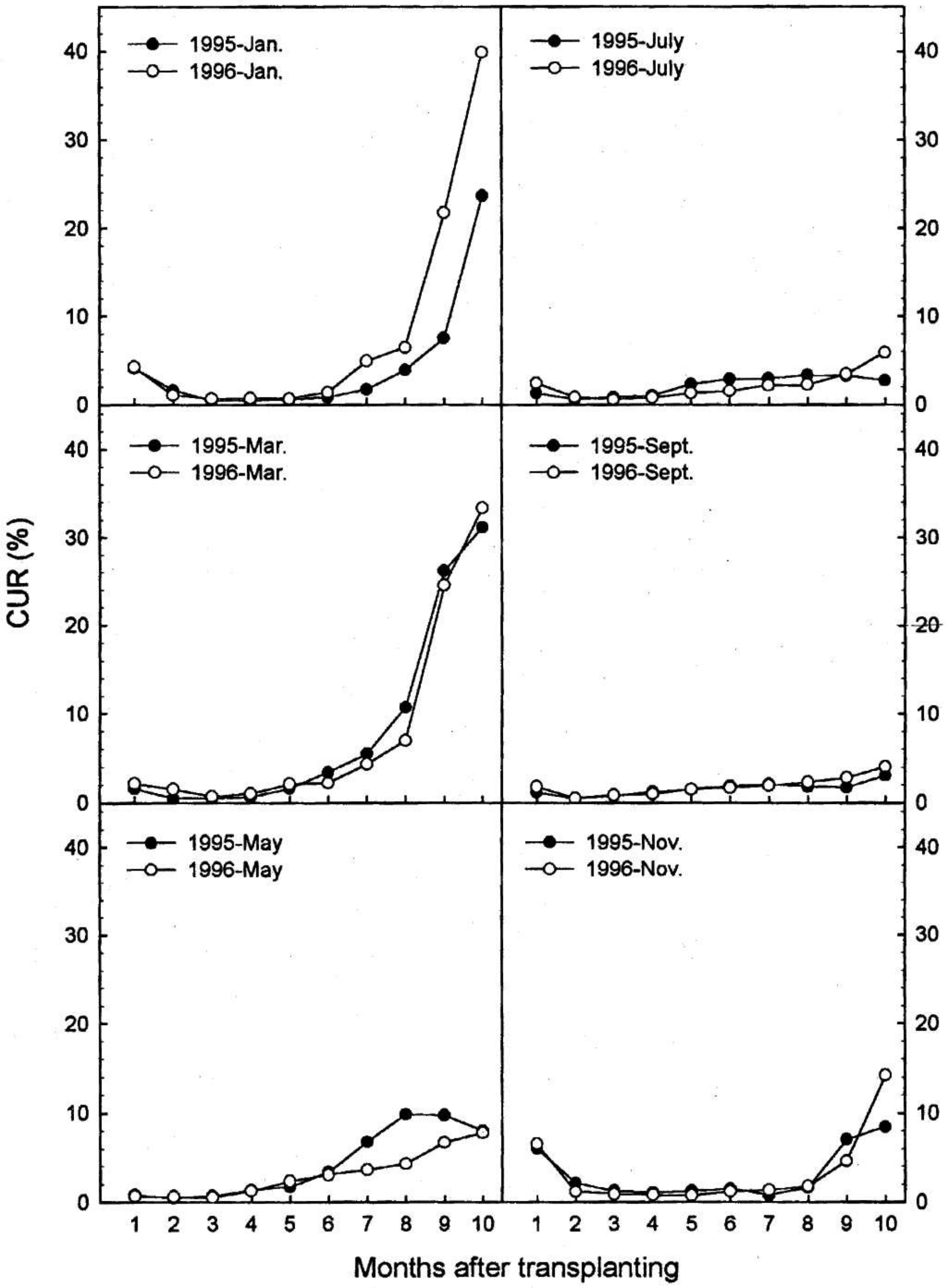

圖 10. 水芋不同種植期下球莖對地上部乾物重之比例的生長變化

Fig. 10. Changes of the ratio of corm to upper plant dry weight during the growing period for wetland taro under different transplanting months.

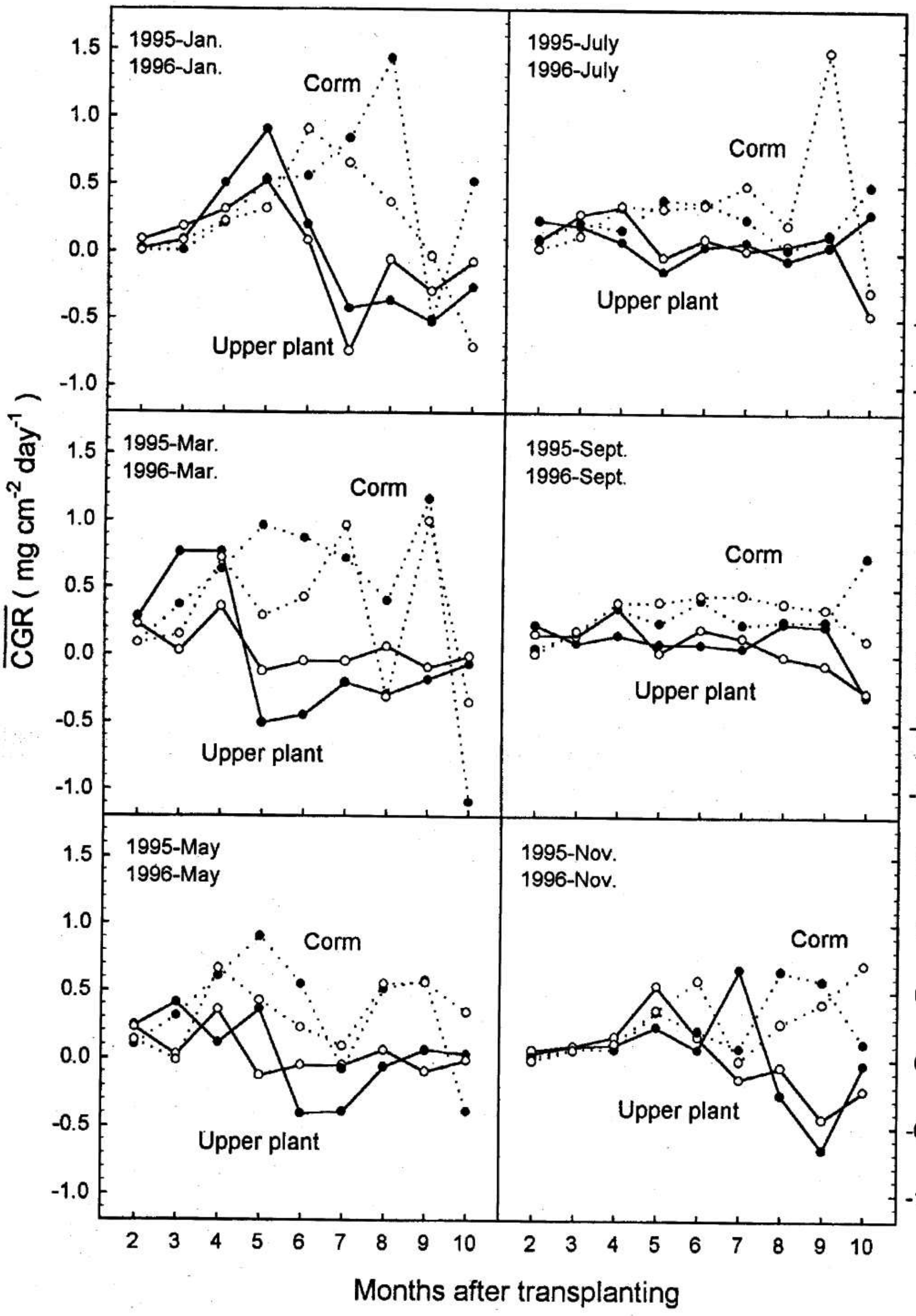

圖 11. 水芋不同種植期下平均作物生長速率（$\overline{CGR}$）之生長變化

Fig. 11. Changes of mean crop growth rate（$\overline{CGR}$）during the growing period for wetland taro under different transplanting months.

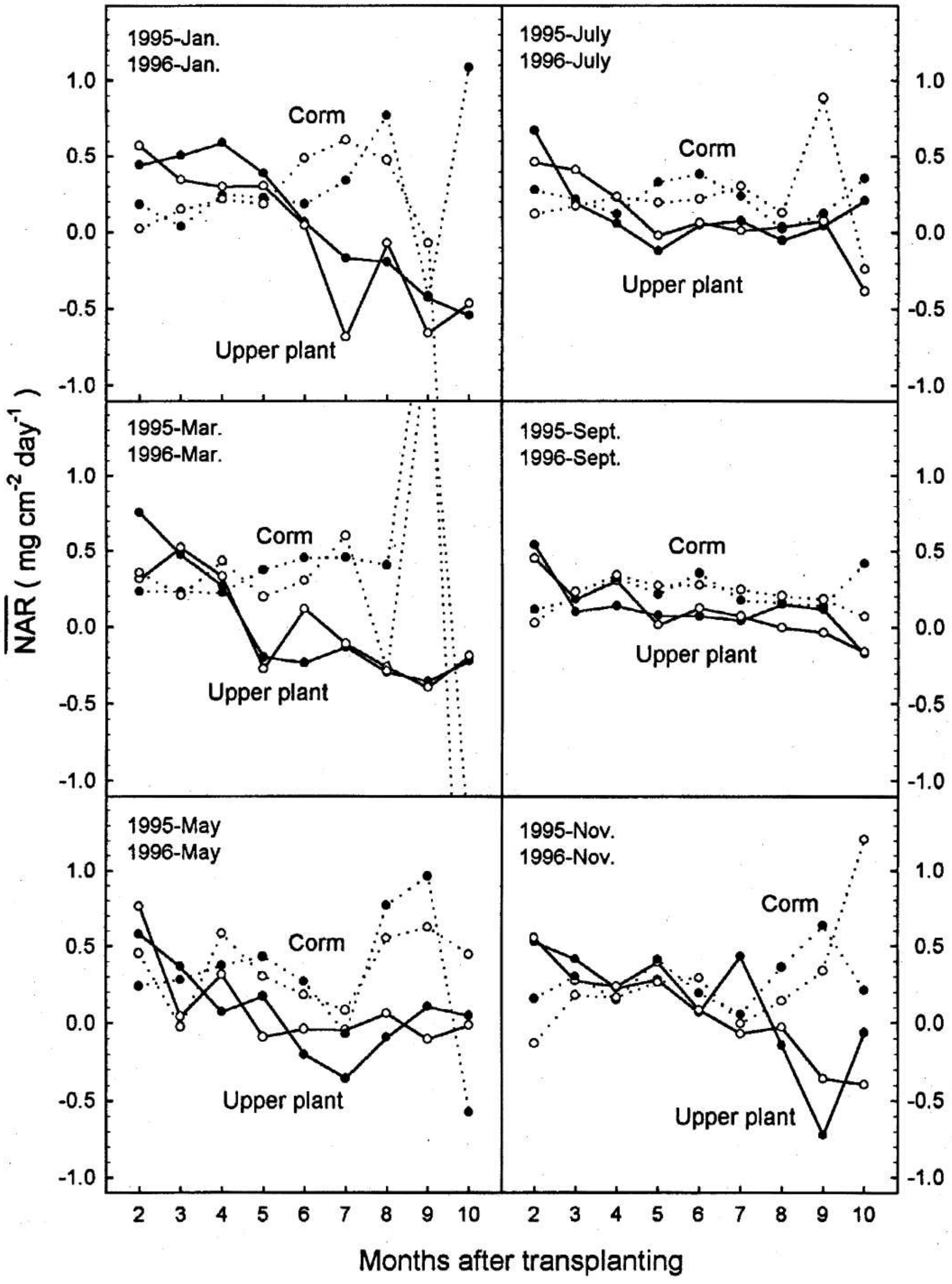

圖 12. 水芋不同種植期下平均淨同化速率（$\overline{NAR}$）之生長變化

Fig. 12. Changes of mean net assimilation rate ($\overline{NAR}$) during the growing period for wetland taro under different transplanting months.

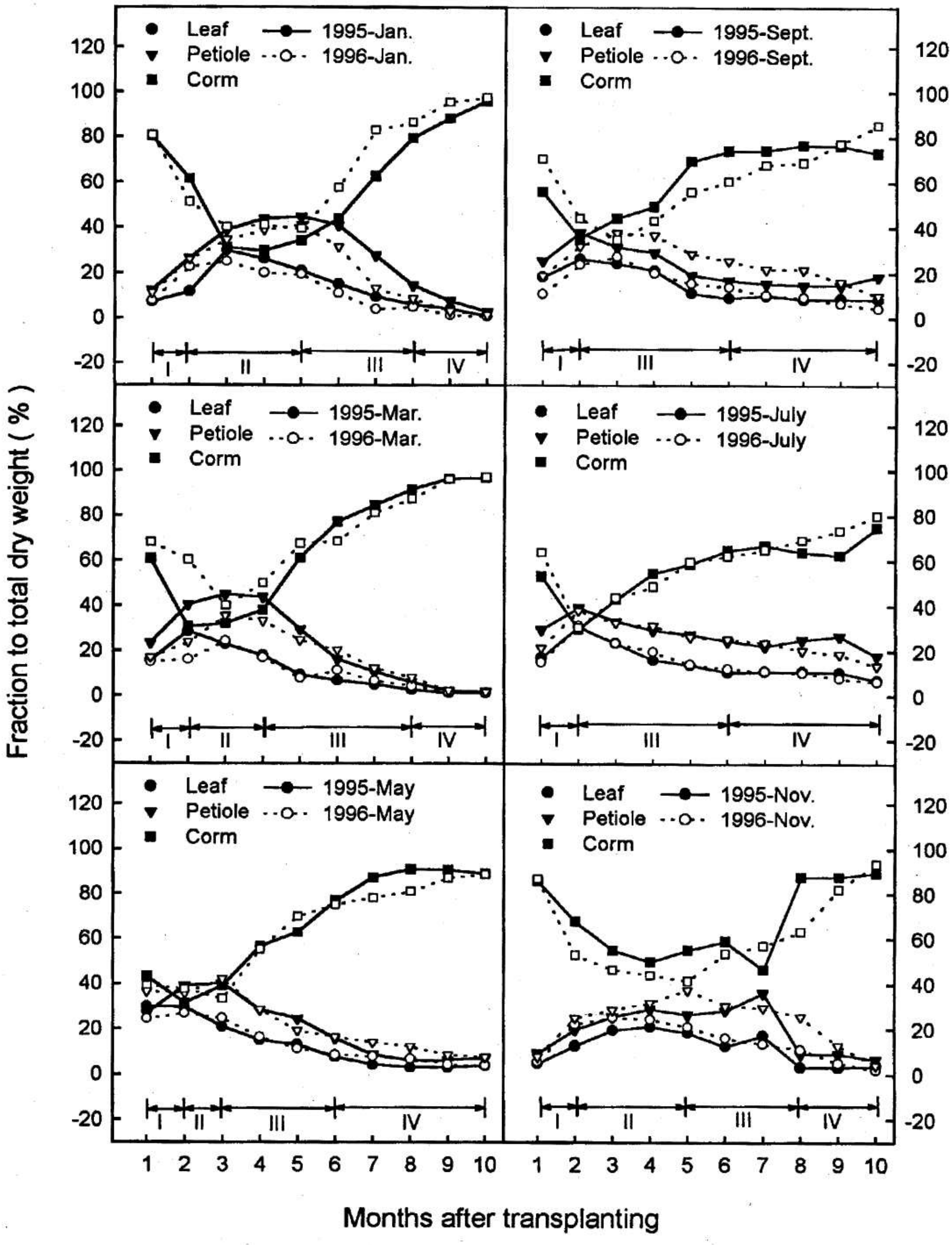

圖 13. 水芋不同種植期下各部位乾物重佔全株總乾物重之百分比的生長變化
（I：生長初期，II：地上部生長旺盛期，III：球莖快速膨大期，IV：球莖成熟期）

Fig. 13. Changes of the contribution by different plant fractions to total plant dry weight during the growing period for wetland taro under different transplanting months. (I: primary growth stage, II: vigorous top-growth stage, III: corm rapid-bulking stage, IV: corm maturity stage)

Growth Analysis of Wetland Taro [*Colocasia esculenta* (L.) Schott] under Various Crops Seasons[1]

Lit-Fu Chan[2], Chun-Tang Lu[3] and Hsiu-Ying Lu[3]

Summary

The objective of this study was to investigate the effects of meteorological factors on seasonal variation of growth analysis in wetland taro under different transplanting months. Two year-round experiments were conducted at Taiwan Agricultural Research Institute. There are a total of twelve transplanting dates by taken at two -month intervals during January in 1995 to November in 1996. The leaf number, leaf area, leaf dry weight, petiole dry weight, and corm dry weight of each plant were measured and used to estimate the various growth parameters. The results showed that air temperature and solar radiation are the most important climate factors in the growth of taro. The variation in leaf growth appeared to be more important for assimilates storage and corm yield than net assimilation rate. The leaf growth depended on the rate and duration of leaf surface expansion, but not leaf number and leaf density. When transplanting in January to March, high temperature and high solar radiation at vigorous top-growth stage increased the rate and duration of leaf growth, and the maximum value of leaf area index （LAI）. This resulted in greater source efficiency and rapid corm bulking. Thus January to March is the most favorable cropping season at Taichung region in Taiwan. When transplanting in July to September, low temperature and low solar radiation at vigorous top-growth stage decreased the rate and duration of leaf growth, and the LAI curve did not reach a maximum value. This resulted in less source efficiency and slow corm bulking. Thus planting taro in July to September is less favorable. When transplanting in May or November, the effect of climatic variation on leaf growth was between January-March and July-September cropping season, however, there was much possibility of suffering yield loss by typhoons.

Key words: Taro, Year-round experiment, Growth parameters, Net assimilation rates, Corm yield, Climate factors, Seasonal variation.

---

1. Contribution No. 1949 from Taiwan Agricultural Research Institute.
2. Research Assistant, Office of Farm Management, TARI, Wufeng, Taichung, Taiwan, ROC.
3. Respectively, Research Assistant and Statistician, Department of Agronomy, TARI, Wufeng, Taichung, Taiwan, ROC.